

FISIOLOGIA

**DIGESTÃO**

# DIGESTÃO E ABSORÇÃO DE CARBOIDRATOS



**JALEKO**

o melhor amigo do estudante de medicina

[www.jaleko.com.br](http://www.jaleko.com.br)

# DIGESTÃO E ABSORÇÃO DE CARBOIDRATOS

## OS PRINCIPAIS CARBOIDRATOS E A SUA PARTICIPAÇÃO NA DIETA HUMANA OCIDENTAL

### O amido

O amido consiste em um polímero natural, um polissacarídeo que é formado a partir da associação sucessiva de diversas moléculas de  $\alpha$ -glicose. Nesse contexto, a formação do amido conta com a união de dois polissacarídeos, denominados amilose (a qual consiste em um polímero de cadeia normal com mais de mil moléculas de  $\alpha$ -glicose e está presente na proporção de 20 a 30%) e amilopectina (a qual é constituída por cadeias longas e muito ramificadas de unidades de  $\alpha$ -glicose, e corresponde a cerca de 70 a 80% do amido. Dessa forma, devemos notar em tanto a amilose quanto a amilopectina são constituídas de moléculas de  $\alpha$ -glicose, mas possuem diferenças estruturais entre si).

### O glicogênio

O glicogênio consiste em um polímero de resíduos de glicose e possui papel de extrema importância para os animais, visto que ele é o principal polissacarídeo de reserva em animais e se encontra em todas as células. Na realidade, se quisermos traçar uma comparação, podemos dizer que o amido está para os vegetais assim como o glicogênio está para os animais, visto que ambos consistem em reservas energéticas. Nos seres humanos, o glicogênio fica armazenado majoritariamente no fígado e nos músculos. Dessa maneira, no momento em que o organismo precisa de energia, o glicogênio é novamente decomposto em glicose, que é transportada pelo sangue até os tecidos, onde é oxidada, liberando energia.

Nos animais, o glicogênio é de extrema importância para a produção de ATP em células musculares e na maioria dos outros tipos celulares. Nos tecidos musculares, por exemplo a energia proveniente do glicogênio é essencial para o processo de contração muscular (ou seja, pode-se dizer que, nesse contexto, o glicogênio não é exportado, mas sim utilizado pela própria célula. Por outro lado, no caso do fígado, o glicogênio

atua como uma fonte de glicose, sendo responsável pelo controle da glicemia. Assim, ocorre que a glicose é exportada para outras partes do corpo.

## ¡Fique Ligado!

### A formação de glicogênio

A formação do glicogênio ocorre por meio de um processo denominado glicogênese. Tal processo tem início com a fosforilação da glicose a glicose-6-fosfato, que é convertida a glicose-1-fosfato, uma reação reversível. A partir da glicose-1-fosfato, forma-se a UDP-glicose (uridina-difosfato de glicose), que é o ponto de ramificação para a síntese do glicogênio e a fonte de todos os resíduos glicosil que serão adicionados à nova molécula de glicogênio.

### A degradação do glicogênio

A via responsável pela degradação do glicogênio é denominada de glicogenólise. Essa via tem como objetivo promover a degradação do glicogênio, a fim de atender as necessidades metabólicas do organismo. Durante a glicogenólise, o glicogênio é degradado por duas enzimas, chamadas de glicogênio-fosforilase e de enzima desramificadora. A primeira tem como função promover a quebra dos resíduos glicosil, liberando glicose-1-fosfato. Já a enzima desramificadora age por meio da remoção dos resíduos glicosil próximos das ramificações.

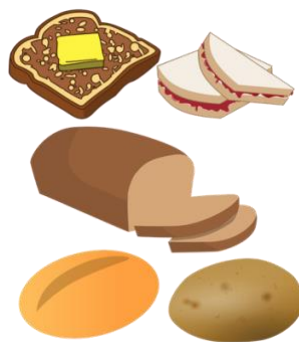


Fig1. Alguns alimentos com alto teor de amido em sua composição

## A celulose

As moléculas de glicose (monossacarídeos) geradas por meio das reações de fotossíntese realizadas pelas plantas combinam-se formando polissacarídeos, os quais são polímeros de condensação naturais. Dessa forma, quando ocorre união por meio de unidades de  $\beta$ -glicose, há a formação da celulose (cada molécula de celulose é

formada por 10.000 ou mais unidades de  $\beta$ -glicose). A celulose é o constituinte da parede celular de todas as plantas, a qual funciona como um reforço externo das células vegetais.

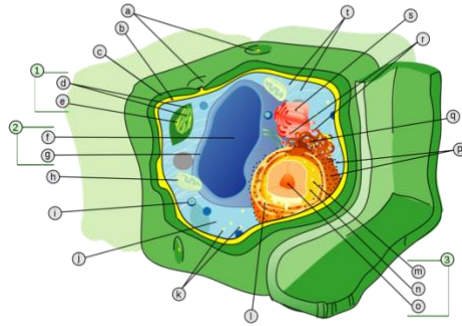


Fig 2. Esquema representativo da estrutura de uma célula vegetal, contendo a parede celular, a qual funciona como um envoltório externo de proteção nessas células.

### ¡Fique Ligado!

A ligação  $\beta$  faz com que esse polissacarídeo tenha uma estrutura bem rígida. Diferentemente do amido e do glicogênio que são polissacarídeos formados pela união de moléculas de  $\alpha$ -glicose.

Por essa razão, os seres humanos não conseguem digerir a celulose ingerida. No entanto, alguns animais, como os ruminantes, o que inclui o veado e o boi, conseguem digerir a celulose porque possuem bactérias em seus tratos digestivos que produzem enzimas capazes de metabolizar esse polímero. O cupim também é capaz disso porque ele possui protozoários que produzem as enzimas que realizam esse trabalho.

Vale lembrar que, apesar de não conseguirmos metabolizar a celulose, a ingestão dessas fibras, por meio de saladas de folhas verdes, por exemplo, é importante para a dieta diária do ser humano, porque a celulose serve de meio de desenvolvimento de bactérias benéficas e também ajuda no bom funcionamento do intestino e excreção das fezes, estimulando a produção de saliva e suco gástrico.

## A DIGESTÃO DE CARBOIDRATOS

A digestão de carboidratos tem início na boca e continua no intestino delgado, mediante a ação da enzima amilase e também por meio das enzimas da borda em escova\* nos intestinos. Nesse caso, a  $\alpha$ -amilase salivar, também denominada ptialina, é uma enzima que guarda muitas semelhanças com a  $\alpha$ -amilase pancreática. Por outro lado, a ptialina possui ação apenas sobre o amido cozido, uma vez que não tem a capacidade de promover rupturas na camada de celulose que recobre o amido cru.

Ambas as amilases, no entanto, sofrem interferências comuns mediante a alterações de pH. Por exemplo, as duas atuam na faixa de pH entre 4 e 11, sendo o pH de 6,9 o ótimo da ação hidrolítica. Além disso, ambas são inativadas quando os valores de pH encontram-se inferiores a 4,0.

Nesse sentido, graças à amilase salivar (ou ptialina), a hidrólise do amido começa já na cavidade oral. No entanto, devido ao fato de que o alimento permanece pouco tempo na cavidade oral, a hidrólise do amido ingerido é limitada a apenas cerca de 3 a 5% nesse local.

Dessa forma, faz-se necessário prosseguir com a digestão do amido. O próximo passo ocorre no estômago, local em que esse tipo de carboidrato fica em torno de uma hora aonde continua a ser digerido, o que ocorre na fase de armazenamento gástrico (fase em que o alimento ainda não foi submetido à ação de mistura pelas peristalses gástricas). Assim, no interior do estômago a  $\alpha$ -amilase salivar tem o potencial de promover a hidrólise de até em torno de 75% do amido ingerido, gerando como resultado da reação os dissacarídeos, maltose, maltotriose e  $\alpha$ -limite dextrina (os quais oligossacarídeos e possuem tamanhos bem inferiores ao do amido).

Então, após passar pelo estômago, a digestão do amido prossegue no intestino delgado. É justamente no delgado, que a enzima  $\alpha$ -amilase pancreática é secretada pelo pâncreas em altas concentrações, na sua forma de enzima ativa. Essa enzima possui, também, atividade catalítica muito significativa. Inclusive, devemos ressaltar

que, em geral, cerca de apenas dez minutos após a chegada do quimo ao duodeno, o amido já se encontra completamente hidrolisado.

Por fim, diante da presença dos oligossacarídeos resultantes da digestão do amido, a digestão dos carboidratos segue com a hidrólise final dos dissacarídeos, trissacarídeos e da a-limite dextrina. Essa digestão é efetuada pelas enzimas oligossacaridasas da borda em escova.

\*A digestão dos macronutrientes no trato gastrointestinal (TGI) é efetuada por enzimas luminais e por enzimas da borda em escova dos enterócitos no delgado, as quais são hidrólases (ou seja, são enzimas que promovem a cisão de um material orgânico através da utilização de água). Essas hidrólases, por sua vez, recebem a denominação de enzimas luminais quando são secretadas na luz intestinal; no entanto, quando são sintetizadas nos enterócitos e incorporadas a suas membranas, são chamadas de enzimas da borda em escova.

### ¡Fique Ligado!

Dissemos que, após a passagem dos carboidratos pela boca, estômago e intestino (locais em que ocorre a digestão do amido), a digestão dos carboidratos prossegue com a hidrólise final dos dissacarídeos, trissacarídeos e da a-limite dextrina, a qual é efetuada pelas enzimas oligossacaridasas da borda em escova.

Afinal, quem são essas enzimas? Essas enzimas da membrana luminal são a maltase (ou glicoamilase), lactase, sacarase e a-dextrinase (ou isomaltase) e trealase.

## AS ENZIMAS DA BORDA EM ESCOVA

As enzimas da borda em escova têm especificidades para vários substratos. Como exceção, temos as enzimas lactase e trealase, as quais são enzimas da borda em escova com especificidade para os seus substratos (a lactose, por exemplo, é 100% digerida pela lactase; de maneira análoga, a trealose é 100% digerida pela trealase)

Nesse sentido, é importante termos em mente que as regiões do trato gastrointestinal que apresentam atividade mais elevada das enzimas da borda em

escova são as regiões do duodeno e no jejuno proximal. Além disso, devemos atentar para o fato de que se observa uma diminuição progressiva da atividade das enzimas da borda em escova no sentido céfalo-caudal (a digestão dos carboidratos completa-se já no jejuno proximal).

Diante da presença dos oligossacarídeos resultantes da digestão do amido, a digestão dos carboidratos segue com a hidrólise final dos dissacarídeos, trissacarídeos e da a-limite dextrina. Essa digestão é efetuada pelas enzimas oligossacaridasas da borda em escova.

### ¡Fique Ligado!

As oligossacaridasas da borda em escova são afetadas tanto por fatores exógenos (tipo e alterações da dieta) quanto por fatores genéticos. Em alguns grupos étnicos humanos de origem não-caucasiana (como negros e asiáticos), assim como em várias outras espécies de mamíferos, ocorre, com frequência bastante elevada, diminuição ou mesmo desaparecimento da atividade da lactase após o desmame. Estas alterações são programadas geneticamente, causando a condição patológica conhecida como intolerância à lactose; esta patologia, também, pode ser congênita e aparecer no recém-nascido. A ingestão crônica de sacarose ou a ausência de sua ingestão afetam grandemente a atividade da sacarase. Adicionalmente, a atividade da lactase é mais resistente às alterações da dieta do que a da sacarase, mas a lactose é muito mais sensível do que as outras oligossacaridasas às injúrias dos enterócitos.

## OS PRODUTOS FINAIS DA DIGESTÃO DOS CARBOIDRATOS

Os produtos finais da digestão dos carboidratos pelas enzimas luminiais e da borda em escova são glicose, galactose e frutose. Esses são absorvidos em duas etapas, mediadas por carregadores presentes nas duas membranas dos enterócitos.

De maneira geral, podemos dizer que as hexoses não possuem a capacidade de passar facilmente a bicamada lipídica das membranas celulares, o que torna necessário haver um transporte por meio de carregadores específicos.

### O transporte através da membrana luminal (ML)

Tanto a glicose quanto a galactose são transportadas ativamente através da membrana luminal pelo carregador SGL- T1 (transportador de sódio e glicose/ “sodium-glicose transporter”), o qual foi o primeiro carregador de hexoses a ser descrito. Por meio desse transportador, ocorre o acoplamento do influxo de 1 mol de glicose ou de galactose ao de 2 moles de íon sódio ( $\text{Na}^+$ ).

Dessa forma, nota-se que o carreador em questão consiste em um cotransportador eletrogênico, que funciona por meio da troca entre sódio e glicose na proporção 2  $\text{Na}^+$  para 1 glicose (ou galactose). Assim, podemos concluir que, com o objetivo de que o transporte ocorra adequadamente, é necessário que haja tanto o gradiente eletroquímico para o íon sódio ( $\text{Na}^+$ ) através da membrana luminal (mantido pela  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase da membrana basolateral), quanto o potencial elétrico da membrana luminal.

### ¡Fique Ligado!

Nós vimos que a absorção intestinal de glicose e de galactose através da membrana luminal consiste em um transporte ativo secundário, acoplado ao influxo de íons sódio ( $\text{Na}^+$ ). Dessa maneira, o que ocorre no contexto de uma inibição da bomba de sódio e potássio ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase)?

Essa inibição acaba por impedir a absorção intestinal de glicose e/ou galactose, dado que ela compromete o gradiente de potencial eletroquímico para o  $\text{Na}^+$  através da célula. Somado a isso, é notório que a redução ou mesmo a ausência de  $\text{Na}^+$  luminal afeta a absorção intestinal dessas hexoses, uma vez que causa a diminuição da afinidade do transportador SGL-T1 para a glicose e/ou galactose.

### O transporte através da membrana basolateral (MBL)

Na membrana basolateral (MBL), tanto a glicose quanto a galactose são transportadas passivamente, por meio do processo de difusão facilitada, o qual é mediado, nesse caso, pelo GLUT2\* um carregador de membrana pertencente à família dos GLUTs.



Em geral, a absorção de hexoses diretamente ingeridas ou provenientes de dissacarídeos consiste em um processo rápido, o qual se completa totalmente até o jejuno proximal. Porém, a absorção de hexoses provenientes do amido não é completa, sendo uma parte não absorvida. Nesse contexto, de acordo com o tipo de alimento, tanto as taxas de absorção quanto os locais destinados a essa absorção de hexoses provenientes do amido são variáveis.

\*O GLUT2, adicionalmente, também transporta frutose através da membrana basolateral (MBL). Já na membrana luminal (ML), o transporte de frutose é mediado pelo GLUT5, por meio de um processo de difusão facilitada, independente de acoplamento com o Na<sup>+</sup>.